

明 細 書

発明の名称：基板処理方法及び基板処理装置

技術分野

[0001] 本開示の例示的实施形態は、基板処理方法及び基板処理装置に関する。

背景技術

[0002] 例えば、特許文献1には、シリコン酸化膜をエッチングする技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2016-122774号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示は、エッチングレートを向上させる技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一つの例示的实施形態において、チャンバ内にシリコン含有膜を有する基板を準備する工程と、 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス、 $C_3H_2F_4$ ガス及び $C_3H_2F_6$ ガスからなる群から選択される少なくとも1種のガス、HFガス、及び、ハロゲン化リンガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に導入してプラズマを生成し、前記基板のシリコン含有膜をエッチングする工程と、を含む基板処理方法が提供される。

発明の効果

[0006] 本開示の一つの例示的实施形態によれば、エッチングレートを向上させる技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]基板処理装置1を概略的に示す図である。

[図2]高周波電力HF及び電気バイアスの一例を示すタイミングチャートであ

る。

[図3]基板処理システムP Sを概略的に示す図である。

[図4]基板Wの断面構造の一例を示す図である。

[図5]本処理方法を示すフローチャートである。

[図6]エッチング後のマスク膜M Kの形状の一例を示す図である。

[図7]ステップS T 2 2における基板Wの断面構造の一例を示す図である。

[図8]実験 1 の測定結果を示す図である。

[図9]実験 2 の測定結果を示す図である。

[図10]実験 2 の測定結果を示す図である。

[図11]実験 3 の測定結果を示す図である。

[図12]実験 3 の測定結果を示す図である。

[図13]凹部R Cの断面形状の評価方法の一例を説明するための図である。

[図14]実験 4 の測定結果を示す図である。

[図15]実験 4 の測定結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、本開示の各実施形態について説明する。

[0009] 一つの例示的实施形態において、基板処理方法が提供される。基板処理方法は、チャンバ内にシリコン含有膜を有する基板を準備する工程と、 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス、 $C_3H_2F_4$ ガス及び $C_3H_2F_6$ ガスからなる群から選択される少なくとも1種のガス、HFガス、及び、ハロゲン化リンガスを含む処理ガスをチャンバ内に導入してプラズマを生成し、基板のシリコン含有膜をエッチングする工程と、を含む。

[0010] 一つの例示的实施形態において、ハロゲン化リンガスは、 PF_3 ガス、 PF_5 ガス、 POF_3 ガス、 HPF_6 ガス、 PCl_3 ガス、 PCl_5 ガス、 $POCl_3$ ガス、 PBr_3 ガス、 PBr_5 ガス、 $POBr_3$ ガス又は PI_3 ガスからなる群から選択される少なくとも1種を含む。

[0011] 一つの例示的实施形態において、処理ガスは、ハロゲン含有ガス、炭素含有ガス、酸素含有ガス及び窒素含有ガスからなる群から選択される少なくとも

も1種をさらに含む。

- [0012] 一つの例示的实施形態において、ハロゲン含有ガスは、塩素含有ガス、臭素含有ガス及びヨウ素含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種である。
- [0013] 一つの例示的实施形態において、ハロゲン含有ガスは、 Cl_2 、 SiCl_2 、 SiCl_4 、 CCl_4 、 SiH_2Cl_2 、 Si_2Cl_6 、 CHCl_3 、 SO_2Cl_2 、 BCl_3 、 PCl_3 、 PCl_5 、 POCl_3 、 Br_2 、 HBr 、 CBr_2F_2 、 $\text{C}_2\text{F}_5\text{Br}$ 、 PBr_3 、 PBr_5 、 POBr_3 、 BBr_3 、 HI 、 CF_3I 、 $\text{C}_2\text{F}_5\text{I}$ 、 $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$ 、 IF_5 、 IF_7 、 I_2 及び PI_3 からなる群から選択される少なくとも1種のガスである。
- [0014] 一つの例示的实施形態において、炭素含有ガスは、 C_aH_b （ a 及び b は1以上の整数である）ガス、 C_cF_d （ c 及び d は1以上の整数である）ガス及び C_eH_f （ e 及び f は1以上の整数である）ガスからなる群から選択される少なくとも1種である。
- [0015] 一つの例示的实施形態において、窒素含有ガスは、 NF_3 ガス、 N_2 ガス及び NH_3 ガスからなる群から選択される少なくとも1種である。
- [0016] 一つの例示的实施形態において、処理ガスは、酸素含有ガスを更に含み、酸素含有ガスは、 O_2 ガス、 CO ガス、 CO_2 ガス、 H_2O ガス及び H_2O_2 ガスからなる群から選択される少なくとも1種である。
- [0017] 一つの例示的实施形態において、処理ガスは、ホウ素含有ガス及び硫黄含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種をさらに含む。
- [0018] 一つの例示的实施形態において、処理ガスは、不活性ガスをさらに含む。
- [0019] 一つの例示的实施形態において、シリコン含有膜は、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜及びポリシリコン膜からなる群から選択される少なくとも1種を含む。
- [0020] 一つの例示的实施形態において、基板は、シリコン含有膜上に少なくとも一つの開口を規定する有機膜又は金属含有膜からなるマスクを有する。
- [0021] 一つの例示的实施形態において、エッチングする工程は、第1の期間と、

第1の期間と交互の第2の期間に基板支持器に電気バイアスを与えることを含み、第1の期間における電気バイアスは0又は第1のレベルであり、第2の期間における電気バイアスは第1のレベルよりも大きい第2のレベルである。

[0022] 一つの例示的实施形態において、エッチングする工程は、第3の期間と、第3の期間と交互の第4の期間に基板支持器又は基板支持器に対向する上部電極に、プラズマを生成するための高周波電力を供給することを含み、前記第3の期間における前記高周波電力のレベルは0又は第3のレベルであり、第4の期間における高周波電力のレベルは第3のレベルよりも大きい第4のレベルであり、第2の期間と、第4の期間とは少なくとも一部が重複している。

[0023] 一つの例示的实施形態において、電気バイアスは、パルス電圧である。

[0024] 一つの例示的实施形態において、エッチングする工程は、基板支持器に対向する上部電極に、直流電圧又は低周波電力を供給することを含む。

[0025] 一つの例示的实施形態において、エッチングする工程は、チャンバ内を第1の圧力とし、基板支持器に第1の電気バイアスを供給して、シリコン含有膜をエッチングする第1工程と、チャンバ内を第2の圧力とし、基板支持器に第2の電気バイアスを供給して、シリコン含有膜をエッチングする第2工程と、を含み、第1の圧力は第2の圧力と異なる、及び／又は第1の電気バイアスは第2の電気バイアスと異なる。

[0026] 一つの例示的实施形態において、第1の圧力は、第2の圧力よりも大きい。

[0027] 一つの例示的实施形態において、第1の電気バイアスの大きさの絶対値は、第2の電気バイアスの大きさの絶対値よりも大きい。

[0028] 一つの例示的实施形態において、第1工程と第2工程とを交互に繰り返す。

[0029] 一つの例示的实施形態において、基板処理方法が提供される。基板処理方法は、チャンバ内にシリコン含有膜を有する基板を準備する工程と、 $C_xH_yF_z$

(x は 2 以上の整数であり、 y 及び z は 1 以上の整数である。) ガス、フッ素含有ガス、及び、リン含有ガスを含む処理ガスをチャンバ内に導入してプラズマを生成し、基板のシリコン含有膜をエッチングする工程と、を含む。

[0030] 一つの例示的实施形態において、フッ素含有ガスは、チャンバ内で HF 種を生成可能なガスである。

[0031] 一つの例示的实施形態において、 $C_xH_yF_z$ ガスは、1 以上の CF_3 基を有する。

[0032] 一つの例示的实施形態において、 $C_xH_yF_z$ ガスは、 $C_3H_2F_4$ ガス、 $C_3H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス及び $C_5H_2F_6$ ガスからなる群から選択される少なくとも 1 種を含む。

[0033] 一つの例示的实施形態において、リン含有ガスは、 PF_3 ガス、 PF_5 ガス、 POF_3 ガス、 HPF_6 ガス、 PCl_3 ガス、 PCl_5 ガス、 $POCl_3$ ガス、 PBr_3 ガス、 PBr_5 ガス、 $POBr_3$ ガス、 PI_3 ガス、 P_4O_{10} ガス、 P_4O_8 ガス、 P_4O_6 ガス、 PH_3 ガス、 Ca_3P_2 ガス、 H_3PO_4 ガス及び Na_3PO_4 ガスからなる群から選択される少なくとも 1 種を含む。

[0034] 一つの例示的实施形態において、チャンバ内の基板支持器上に、シリコン含有膜を有する基板を準備する工程と、チャンバ内でプラズマを生成する工程と、プラズマに含まれる HF 種及び $C_xH_yF_z$ (x は 2 以上の整数であり、 y 及び z は 1 以上の整数である。) 種を用いてシリコン含有膜をエッチングする工程と、を含み、プラズマは、リンの活性種を含み、かつ、HF 種の量が最も多い。

[0035] 一つの例示的实施形態において、基板処理装置が提供される。基板処理装置は、チャンバ、チャンバ内に設けられた基板支持器、チャンバ内でプラズマを生成させるための電力を供給するプラズマ生成部、及び、制御部を備え、制御部は、基板支持器上に支持された基板のシリコン含有膜をエッチングするために、 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス、 $C_3H_2F_4$ ガス及び $C_3H_2F_6$ ガスからなる群から選択される少なくとも 1 種のガス、HF ガス、及び、ハロゲン化リンガスを含む処理ガスをチャンバ内に導入し、プラズマ生成部から供給

する電力によりプラズマを生成する制御を実行する。

[0036] 以下、図面を参照して、本開示の各実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一または同様の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。特に断らない限り、図面に示す位置関係に基づいて上下左右等の位置関係を説明する。図面の寸法比率は実際の比率を示すものではなく、また、実際の比率は図示の比率に限られるものではない。

[0037] <基板処理装置 1 の構成>

図 1 は、一つの例示的实施形態に係る基板処理装置 1 を概略的に示す図である。一つの例示的实施形態に係る基板処理方法（以下「本処理方法」という）は、基板処理装置 1 を用いて実行されてよい。

[0038] 図 1 に示す基板処理装置 1 は、チャンバ 10 を備える。チャンバ 10 は、その中に内部空間 10 s を提供する。チャンバ 10 はチャンバ本体 12 を含む。チャンバ本体 12 は、略円筒形状を有する。チャンバ本体 12 は、例えばアルミニウムから形成される。チャンバ本体 12 の内壁面上には、耐腐食性を有する膜が設けられている。耐腐食性を有する膜は、酸化アルミニウム、酸化イットリウムなどのセラミックから形成され得る。

[0039] チャンバ本体 12 の側壁には、通路 12 p が形成されている。基板 W は、通路 12 p を通して内部空間 10 s とチャンバ 10 の外部との間で搬送される。通路 12 p は、ゲートバルブ 12 g により開閉される。ゲートバルブ 12 g は、チャンバ本体 12 の側壁に沿って設けられる。

[0040] チャンバ本体 12 の底部上には、支持部 13 が設けられている。支持部 13 は、絶縁材料から形成される。支持部 13 は、略円筒形状を有する。支持部 13 は、内部空間 10 s の中で、チャンバ本体 12 の底部から上方に延在している。支持部 13 は、基板支持器 14 を支持している。基板支持器 14 は、内部空間 10 s の中で基板 W を支持するように構成されている。

[0041] 基板支持器 14 は、下部電極 18 及び静電チャック 20 を有する。基板支持器 14 は、電極プレート 16 を更に有し得る。電極プレート 16 は、アルミニウムなどの導体から形成されており、略円盤形状を有する。下部電極 1

8は、電極プレート16上に設けられている。下部電極18は、アルミニウムなどの導体から形成されており、略円盤形状を有する。下部電極18は、電極プレート16に電氣的に接続されている。

[0042] 静電チャック20は、下部電極18上に設けられている。基板Wは、静電チャック20の上面の上に載置される。静電チャック20は、本体及び電極を有する。静電チャック20の本体は、略円盤形状を有し、誘電体から形成される。静電チャック20の電極は、膜状の電極であり、静電チャック20の本体内に設けられている。静電チャック20の電極は、スイッチ20sを介して直流電源20pに接続されている。静電チャック20の電極に直流電源20pからの電圧が印加されると、静電チャック20と基板Wとの間に静電引力が発生する。基板Wは、その静電引力によって静電チャック20に引き付けられて、静電チャック20によって保持される。

[0043] 基板支持器14上には、エッジリング25が配置される。エッジリング25は、リング状の部材である。エッジリング25は、シリコン、炭化シリコン、又は石英などから形成され得る。基板Wは、静電チャック20上、且つ、エッジリング25によって囲まれた領域内に配置される。

[0044] 下部電極18の内部には、流路18fが設けられている。流路18fには、チャンバ10の外部に設けられているチラーユニットから配管22aを介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。流路18fに供給された熱交換媒体は、配管22bを介してチラーユニットに戻される。基板処理装置1では、静電チャック20上に載置された基板Wの温度が、熱交換媒体と下部電極18との熱交換により、調整される。

[0045] 基板処理装置1には、ガス供給ライン24が設けられている。ガス供給ライン24は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス（例えばHeガス）を、静電チャック20の上面と基板Wの裏面との間の間隙に供給する。

[0046] 基板処理装置1は、上部電極30を更に備える。上部電極30は、基板支持器14の上方に設けられている。上部電極30は、部材32を介して、チャンバ本体12の上部に支持されている。部材32は、絶縁性を有する9材

料から形成される。上部電極 30 と部材 32 は、チャンバ本体 12 の上部開口を閉じている。

[0047] 上部電極 30 は、天板 34 及び支持体 36 を含み得る。天板 34 の下面は、内部空間 10s の側の下面であり、内部空間 10s を画成する。天板 34 は、発生するジュール熱の少ない低抵抗の導電体又は半導体から形成され得る。天板 34 は、天板 34 をその板厚方向に貫通する複数のガス吐出孔 34a を有する。

[0048] 支持体 36 は、天板 34 を着脱自在に支持する。支持体 36 は、アルミニウムなどの導電性材料から形成される。支持体 36 の内部には、ガス拡散室 36a が設けられている。支持体 36 は、ガス拡散室 36a から下方に延びる複数のガス孔 36b を有する。複数のガス孔 36b は、複数のガス吐出孔 34a にそれぞれ連通している。支持体 36 には、ガス導入口 36c が形成されている。ガス導入口 36c は、ガス拡散室 36a に接続している。ガス導入口 36c には、ガス供給管 38 が接続されている。

[0049] ガス供給管 38 には、流量制御器群 41 及びバルブ群 42 を介して、ガスソース群 40 が接続されている。流量制御器群 41 及びバルブ群 42 は、ガス供給部を構成している。ガス供給部は、ガスソース群 40 を更に含んでもよい。ガスソース群 40 は、複数のガスソースを含む。複数のガスソースは、本処理方法で用いられる処理ガスのソースを含む。流量制御器群 41 は、複数の流量制御器を含む。流量制御器群 41 の複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器である。バルブ群 42 は、複数の開閉バルブを含む。ガスソース群 40 の複数のガスソースの各々は、流量制御器群 41 の対応の流量制御器及びバルブ群 42 の対応の開閉バルブを介して、ガス供給管 38 に接続されている。

[0050] 基板処理装置 1 では、チャンバ本体 12 の内壁面及び支持部 13 の外周に沿って、シールド 46 が着脱自在に設けられている。シールド 46 は、チャンバ本体 12 に反応副生物が付着することを防止する。シールド 46 は、例えば、アルミニウムから形成された母材の表面に耐腐食性を有する膜を形成

することにより構成される。耐腐食性を有する膜は、酸化イットリウムなどのセラミックから形成され得る。

[0051] 支持部13とチャンバ本体12の側壁との間には、バッフルプレート48が設けられている。バッフルプレート48は、例えば、アルミニウムから形成された部材の表面に耐腐食性を有する膜（酸化イットリウムなどの膜）を形成することにより構成される。バッフルプレート48には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート48の下方、且つ、チャンバ本体12の底部には、排気口12eが設けられている。排気口12eには、排気管52を介して排気装置50が接続されている。排気装置50は、圧力調整弁及びターボ分子ポンプなどの真空ポンプを含む。

[0052] 基板処理装置1は、高周波電源62及びバイアス電源64を備えている。高周波電源62は、高周波電力HFを発生する電源である。高周波電力HFは、プラズマの生成に適した第1の周波数を有する。第1の周波数は、例えば27MHz～100MHzの範囲内の周波数である。高周波電源62は、整合器66及び電極プレート16を介して下部電極18に接続されている。整合器66は、高周波電源62の負荷側（下部電極18側）のインピーダンスを高周波電源62の出力インピーダンスに整合させるための回路を有する。なお、高周波電源62は、整合器66を介して、上部電極30に接続されていてもよい。高周波電源62は、一例のプラズマ生成部を構成している。

[0053] バイアス電源64は、電気バイアスを発生する電源である。バイアス電源64は、下部電極18に電氣的に接続されている。電気バイアスは、第2の周波数を有する。第2の周波数は、第1の周波数よりも低い。第2の周波数は、例えば400kHz～13.56MHzの範囲内の周波数である。電気バイアスは、高周波電力HFと共に用いられる場合には、基板Wにイオンを引き込むために基板支持器14に与えられる。一例では、電気バイアスは、下部電極18に与えられる。電気バイアスが下部電極18に与えられると、基板支持器14上に載置された基板Wの電位は、第2の周波数で規定される周期内で変動する。なお、電気バイアスは、静電チャック20内に設けられ

たバイアス電極に与えられてもよい。

[0054] 一実施形態において、電気バイアスは、第2の周波数を有する高周波電力LFであってもよい。高周波電力LFは、高周波電力HFと共に用いられる場合には、基板Wにイオンを引き込むための高周波バイアス電力として用いられる。高周波電力LFを発生するように構成されたバイアス電源64は、整合器68及び電極プレート16を介して下部電極18に接続される。整合器68は、バイアス電源64の負荷側（下部電極18側）のインピーダンスをバイアス電源64の出力インピーダンスに整合させるための回路を有する。

[0055] なお、高周波電力HFを用いずに、高周波電力LFを用いて、即ち、単一の高周波電力のみを用いてプラズマを生成してもよい。この場合には、高周波電力LFの周波数は、13.56MHzよりも大きな周波数、例えば40MHzであってもよい。また、この場合には、基板処理装置1は、高周波電源62及び整合器66を備えなくてもよい。この場合には、バイアス電源64は一例のプラズマ生成部を構成する。

[0056] 別の実施形態において、電気バイアスは、パルス状の電圧（パルス電圧）であってもよい。この場合、バイアス電源は、直流電源であってもよい。バイアス電源は、電源自体がパルス電圧を供給するように構成されていてよく、バイアス電源の下流側に電圧をパルス化するデバイスを備えるように構成されてもよい。一例では、パルス電圧は、基板Wに負の電位が生じるように下部電極18に与えられる。パルス電圧は、矩形波であってもよく、三角波であってもよく、インパルスであってもよく、又はその他の波形を有していてもよい。

[0057] パルス電圧の周期は、第2の周波数で規定される。パルス電圧の周期は、二つの期間を含む。二つの期間のうち一方の期間におけるパルス電圧は、負極性の電圧である。二つの期間のうち一方の期間における電圧のレベル（即ち、絶対値）は、二つの期間のうち他方の期間における電圧のレベル（即ち、絶対値）よりも高い。他方の期間における電圧は、負極性、正極性の何れ

であってもよい。他方の期間における負極性の電圧のレベルは、ゼロよりも大きくてもよく、ゼロであってもよい。この実施形態において、バイアス電源64は、ローパスフィルタ及び電極プレート16を介して下部電極18に接続される。なお、バイアス電源64は、下部電極18に代えて、静電チャック20内に設けられたバイアス電極に接続されてもよい。

[0058] 一実施形態において、バイアス電源64は、電気バイアスの連続波を下部電極18に与えてもよい。即ち、バイアス電源64は、電気バイアスを連続的に下部電極18に与えてもよい。

[0059] 別の実施形態において、バイアス電源64は、電気バイアスのパルス波を下部電極18に与えてもよい。電気バイアスのパルス波は、周期的に下部電極18に与えられ得る。電気バイアスのパルス波の周期は、第3の周波数で規定される。第3の周波数は、第2の周波数よりも低い。第3の周波数は、例えば1 Hz以上、200 kHz以下である。他の例では、第3の周波数は、5 Hz以上、100 kHz以下であってもよい。

[0060] 電気バイアスのパルス波の周期は、二つの期間、即ちH期間及びL期間を含む。H期間における電気バイアスのレベル（即ち、電気バイアスのパルスのレベル）は、L期間における電気バイアスのレベルよりも高い。即ち、電気バイアスのレベルが増減されることにより、電気バイアスのパルス波が下部電極18に与えられてもよい。L期間における電気バイアスのレベルは、ゼロよりも大きくてもよい。或いは、L期間における電気バイアスのレベルは、ゼロであってもよい。即ち、電気バイアスのパルス波は、電気バイアスの下部電極18への供給と供給停止とを交互に切り替えることにより、下部電極18に与えられてもよい。ここで、電気バイアスが高周波電力LFである場合には、電気バイアスのレベルは、高周波電力LFの電力レベルである。電気バイアスが高周波電力LFである場合には、電気バイアスのパルスにおける高周波電力LFのレベルは、2 kW以上であってもよい。電気バイアスが負極性の直流電圧のパルス波である場合には、電気バイアスのレベルは、負極性の直流電圧の絶対値の実効値である。電気バイアスのパルス波のデ

ューティ比、即ち、電気バイアスのパルス波の周期においてH期間が占める割合は、例えば1%以上、80%以下である。別の例では、電気バイアスのパルス波のデューティ比は5%以上50%以下であってよい。或いは、電気バイアスのパルス波のデューティ比は、50%以上、99%以下であってもよい。なお、電気バイアスが供給される期間のうち、L期間が上述した第1の期間に、H期間が上述した第2の期間に相当する。また、L期間における電気バイアスのレベルが上述した0又は第1のレベルに、H期間における電気バイアスのレベルが上述した第2のレベルに相当する。

[0061] 一実施形態において、高周波電源62は、高周波電力HFの連続波を供給してもよい。即ち、高周波電源62は、高周波電力HFを連続的に供給してもよい。

[0062] 別の実施形態において、高周波電源62は、高周波電力HFのパルス波を供給してもよい。高周波電力HFのパルス波は、周期的に供給され得る。高周波電力HFのパルス波の周期は、第4の周波数で規定される。第4の周波数は、第2の周波数よりも低い。一実施形態において、第4の周波数は、第3の周波数と同じである。高周波電力HFのパルス波の周期は、二つの期間、即ちH期間及びL期間を含む。H期間における高周波電力HFの電力レベルは、二つの期間のうちL期間における高周波電力HFの電力レベルよりも高い。L期間における高周波電力HFの電力レベルは、ゼロよりも大きくてもよく、ゼロであってもよい。なお、高周波電力HFが供給される期間のうち、L期間が上述した第3の期間に、H期間が上述した第4の期間に相当する。また、L期間における高周波電力HFのレベルが上述した0又は第3のレベルに、H期間における電気バイアスのレベルが上述した第4のレベルに相当する。

[0063] なお、高周波電力HFのパルス波の周期は、電気バイアスのパルス波の周期と同期していてもよい。高周波電力HFのパルス波の周期におけるH期間は、電気バイアスのパルス波の周期におけるH期間と同期していてもよい。或いは、高周波電力HFのパルス波の周期におけるH期間は、電気バイアス

のパルス波の周期におけるH期間と同期していなくてもよい。高周波電力HFのパルス波の周期におけるH期間の時間長は、電気バイアスのパルス波の周期におけるH期間の時間長と同一であってもよく、異なってもよい。高周波電力HFのパルス波の周期におけるH期間の一部又は全部が、電気バイアスのパルス波の周期におけるH期間と重複してもよい。

[0064] 図2は、高周波電力HF及び電気バイアスの一例を示すタイミングチャートである。図2は、高周波電力HF及び電気バイアスとしていずれもパルス波を用いる例である。図2において、横軸は時間を示す。図2において、縦軸は、高周波電力HF及び電気バイアスの電力レベルを示す。高周波電力HFの「L1」は、高周波電力HFが供給されていないか、又は、「H1」で示す電力レベルよりも低いことを示す。電気バイアスの「L2」は、電気バイアスが供給されていないか、又は、「H2」で示す電力レベルよりも低いことを示す。電気バイアスが負極性の直流電圧のパルス波である場合には、電気バイアスのレベルは、負極性の直流電圧の絶対値の実効値である。なお、図2の高周波電力HF及び電気バイアスの電力レベルの大きさは、両者の相対的な関係を示すものではなく、任意に設定されてよい。図2は、高周波電力HFのパルス波の周期が、電気バイアスのパルス波の周期と同期し、かつ、高周波電力HFのパルス波のH期間及びL期間の時間長と、電気バイアスのパルス波のH期間及びL期間の時間長が同一の例である。

[0065] 図1に戻って説明を続ける。基板処理装置1は、電源70を更に備えている。電源70は、上部電極30に接続されている。一例において、電源70は、プラズマ処理中、上部電極30に直流電圧又は低周波電力を供給するように構成されてよい。例えば、電源70は、上部電極30に負極性の直流電圧を供給してもよく、低周波電力を周期的に供給してもよい。直流電圧又は低周波電力はパルス波として供給してもよく、連続波として供給してもよい。この実施形態では、プラズマ処理空間10s内に存在する正イオンが上部電極30に引き込まれて衝突する。これにより、上部電極30から二次電子が放出される。放出された二次電子は、マスク膜MKを改質し、マスク膜M

Kのエッチング耐性を向上させる。また、二次電子は、プラズマ密度の向上に寄与する。また、二次電子の照射により、基板Wの帯電状態が中和されるため、エッチングにより形成された凹部内へのイオンの直進性が高められる。さらに、上部電極30がシリコン含有材料により構成されている場合には、正イオンの衝突により、二次電子とともにシリコンが放出される。放出されたシリコンは、プラズマ中の酸素と結合して酸化シリコン化合物としてマスク上に堆積して保護膜として機能する。以上より、上部電極30への直流電圧又は低周波電力の供給により、選択比の改善ばかりでなく、エッチングにより形成される凹部における形状異常の抑制、エッチングレートの改善等の効果が得られる。

[0066] 基板処理装置1においてプラズマ処理が行われる場合には、ガスがガス供給部から内部空間10sに供給される。また、高周波電力HF及び／又は電気バイアスが供給されることにより、上部電極30と下部電極18との間で高周波電界が生成される。生成された高周波電界が内部空間10sの中のガスからプラズマを生成する。

[0067] 基板処理装置1は、制御部80を更に備え得る。制御部80は、プロセッサ、メモリなどの記憶部、入力装置、表示装置、信号の入出力インターフェイス等を備えるコンピュータであり得る。制御部80は、基板処理装置1の各部を制御する。制御部80では、入力装置を用いて、オペレータが基板処理装置1を管理するためにコマンドの入力操作等を行うことができる。また、制御部80では、表示装置により、基板処理装置1の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、記憶部には、制御プログラム及びレシピデータが格納されている。制御プログラムは、基板処理装置1で各種処理を実行するために、プロセッサによって実行される。プロセッサは、制御プログラムを実行し、レシピデータに従って基板処理装置1の各部を制御する。一つの例示的实施形態において、制御部80の一部又は全てが基板処理装置1の外部の装置の構成の一部として設けられてよい。

[0068] <基板処理システムPSの構成>

図3は、1つの例示的实施形態に係る基板処理システムPSを概略的に示す図である。本処理方法は、基板処理システムPSを用いて実行されてもよい。

[0069] 基板処理システムPSは、基板処理室PM1～PM6（以下、総称して「基板処理モジュールPM」ともいう。）と、搬送モジュールTMと、ロードロックモジュールLLM1及びLLM2（以下、総称して「ロードロックモジュールLLM」ともいう。）と、ローダーモジュールLM、ロードポートLP1からLP3（以下、総称して「ロードポートLP」ともいう。）とを有する。制御部CTは、基板処理システムPSの各構成を制御して、基板Wに所定の処理を実行する。

[0070] 基板処理モジュールPMは、その内部において、基板Wに対して、エッチング処理、トリミング処理、成膜処理、アニール処理、ドーピング処理、リソグラフィ処理、クリーニング処理、アッシング処理等の処理を実行する。基板処理モジュールPMの一部は、測定モジュールであってよく、基板W上に形成された膜の膜厚や、基板W上に形成されたパターンの寸法等を測定してもよい。図1に示す基板処理装置1は、基板処理モジュールPMの一例である。

[0071] 搬送モジュールTMは、基板Wを搬送する搬送装置を有し、基板処理モジュールPM間又は基板処理モジュールPMとロードロックモジュールLLMとの間で、基板Wを搬送する。基板処理モジュールPM及びロードロックモジュールLLMは、搬送モジュールTMに隣接して配置されている。搬送モジュールTMと基板処理モジュールPM及びロードロックモジュールLLMは、開閉可能なゲートバルブによって空間的に隔離又は連結される。

[0072] ロードロックモジュールLLM1及びLLM2は、搬送モジュールTMとローダーモジュールLMとの間に設けられている。ロードロックモジュールLLMは、その内部の圧力を、大気圧又は真空に切り替えることができる。ロードロックモジュールLLMは、大気圧であるローダーモジュールLMから真空である搬送モジュールTMへ基板Wを搬送し、また、真空である搬送モ

ジュールTMから大気圧であるローダーモジュールLMへ搬送する。

[0073] ローダーモジュールLMは、基板Wを搬送する搬送装置を有し、ロードロックモジュールLLMとロードボードLPとの間で基板Wを搬送する。ロードポートLP内の内部には、例えば25枚の基板Wが収納可能なFOUP (Front Opening Unified Pod) または空のFOUPが載置できる。ローダーモジュールLMは、ロードポートLP内のFOUPから基板Wを取り出して、ロードロックモジュールLLMに搬送する。また、ローダーモジュールLMは、ロードロックモジュールLLMから基板Wを取り出して、ロードボードLP内のFOUPに搬送する。

[0074] 制御部CTは、基板処理システムPSの各構成を制御して、基板Wに所定の処理を実行する。制御部CTは、プロセスの手順、プロセスの条件、搬送条件等が設定されたレシピを格納しており、当該レシピに従って、基板Wに所定の処理を実行するように、基板処理システムPSの各構成を制御する。制御部CTは、図1に示す基板処理装置1の制御部80の一部又は全部の機能を兼ねてもよい。

[0075] <基板Wの一例>

図4は、基板Wの断面構造の一例を示す図である。基板Wは、本処理方法が適用され得る基板の一例である。基板Wは、シリコン含有膜SFを有する。基板Wは、下地膜UF及びマスク膜MKを有してよい。図4に示すように、基板Wは、下地膜UF、シリコン含有膜SF及びマスク膜MKがこの順で積層されて形成されてよい。

[0076] 下地膜UFは、例えば、シリコンウェハやシリコンウェハ上に形成された有機膜、誘電体膜、金属膜、半導体膜等でよい。下地膜UFは、複数の膜が積層されて構成されてよい。

[0077] シリコン含有膜SFは、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜 (SiON膜)、Si-ARC膜でよい。シリコン含有膜SFは、多結晶シリコン膜を含んでよい。シリコン含有膜SFは、複数の膜が積層されて構成されてよい。例えば、シリコン含有膜SFは、シリコン酸化膜と多結晶

シリコン膜とが交互に積層されて構成されてよい。一例では、シリコン含有膜S Fは、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜とが交互に積層された積層膜である。

[0078] 下地膜U F及び／又はシリコン含有膜S Fは、C V D法、スピコート法等により形成されてよい。下地膜U F及び／又はシリコン含有膜S Fは、平坦な膜であってよく、また、凹凸を有する膜であってもよい。

[0079] マスク膜M Kは、シリコン含有膜S F上に形成されている。マスク膜M Kは、シリコン含有膜S F上において少なくとも1つの開口O Pを規定する。開口O Pは、シリコン含有膜S F上の空間であって、マスク膜M Kの側壁S 1に囲まれている。すなわち、図4において、シリコン含有膜S Fは、マスク膜M Kによって覆われた領域と、開口O Pの底部において露出した領域とを有する。

[0080] 開口O Pは、基板Wの平面視（基板Wを図4の上から下に向かう方向に見た場合）において、任意の形状を有してよい。当該形状は、例えば、穴形状や線形状、穴形状と線形状との組み合わせであってよい。マスク膜M Kは、複数の側壁S 1を有し、複数の側壁S 1が複数の開口O Pを規定してもよい。複数の開口O Pは、それぞれ線形状を有し、一定の間隔で並んでライン＆スペースのパターンを構成してもよい。また、複数の開口O Pは、それぞれ穴形状を有し、アレイパターンを構成してもよい。

[0081] マスク膜M Kは、例えば、有機膜や金属含有膜である。有機膜は、例えば、スピオンカーボン膜（S O C）、アモルファスカーボン膜、フォトレジスト膜でよい。金属含有膜は、例えば、タングステン、炭化タングステン、窒化チタンを含んでよい。マスク膜M Kは、C V D法、スピコート法等により形成されてよい。開口O Pは、マスク膜M Kをエッチングすることで形成されてよい。マスク膜M Kは、リソグラフィによって形成されてもよい。

[0082] <本処理方法の一例>

図5は、本処理方法を示すフローチャートである。本処理方法は、基板を準備する工程（ステップS T 1）と、エッチング工程（ステップS T 2）と

を含む。以下では、図 1 に示す制御部 80 が基板処理装置 1 の各部を制御して、図 4 に示す基板 W に対して本処理方法を実行する場合を例に説明する。

[0083] (ステップ S T 1 : 基板の準備)

ステップ S T 1 において、基板 W をチャンバ 10 の内部空間 10 s 内に準備する。内部空間 10 s 内において、基板 W は、基板支持器 14 の上面に配置され、静電チャック 20 により保持される。基板 W の各構成を形成するプロセスの少なくとも一部は、内部空間 10 s 内で行われてよい。また、基板 W の各構成の全部又は一部が基板処理装置 1 の外部の装置又はチャンバで形成された後、基板 W が内部空間 10 s 内に搬入され、基板支持器 14 の上面に配置されてもよい。

[0084] (ステップ S T 2 : エッチング工程)

ステップ S T 2 において、基板 W のシリコン含有膜 S F のエッチングを実行する。ステップ S T 2 は、処理ガスを供給する工程 (ステップ S T 2 1) と、プラズマを生成する工程 (ステップ S T 2 2) とを含む。処理ガスから生成されたプラズマの活性種 (イオン、ラジカル) により、シリコン含有膜 S F がエッチングされる。

[0085] ステップ S T 2 1 において、ガス供給部から内部空間 10 s 内に処理ガスを供給する。処理ガスは、反応ガスとして、フッ素含有ガス、 $C_xH_yF_z$ (前述のフッ素含有ガスとは異なるガスであり、 x は 2 以上の整数であり、 y 及び z は 1 以上の整数である。) ガス (以下、このガスを「 $C_xH_yF_z$ ガス」ともいう)、及びリン含有ガスを含む。なお、本実施形態では、別段の記載がない限り、反応ガスには Ar 等の貴ガスは含まれない。

[0086] $C_xH_yF_z$ ガスは、例えば、 C_2H_5F ガス、 $C_2H_2F_4$ ガス、 $C_2H_3F_3$ ガス、 $C_2H_4F_2$ ガス、 C_3H_7F ガス、 $C_3H_2F_2$ ガス、 $C_3H_2F_4$ ガス、 $C_3H_2F_6$ ガス、 $C_3H_3F_5$ ガス、 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_5F_5$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス、 $C_5H_2F_6$ ガス、 $C_5H_2F_{10}$ ガス及び $C_5H_3F_7$ ガスからなる群から選択される少なくとも 1 種を使用してよい。一例では、 $C_xH_yF_z$ ガスとして、 $C_3H_2F_4$ ガス、 $C_3H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_6$ ガス及び $C_4H_2F_8$ ガスからなる群から選択される少なくとも 1 種を用い

る。他の例では、 $C_xH_yF_z$ ガスとして、 $C_3H_2F_4$ ガス、 $C_3H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス及び $C_5H_2F_6$ ガスからなる群から選択される少なくとも1種を用いる。 $C_xH_yF_z$ ガスとして、例えば、 $C_4H_2F_6$ ガスを用いる場合、 $C_4H_2F_6$ は直鎖状であってもよく、環状であってもよい。

[0087] $C_xH_yF_z$ ガスを含む処理ガスから生成するプラズマには、 $C_xH_yF_z$ ガスから解離する $C_xH_yF_z$ 種が含まれる。この $C_xH_yF_z$ 種には、2以上の炭素原子を含む $C_xH_yF_z$ ラジカル（例えば、 C_2H_2F ラジカル、 $C_2H_2F_2$ ラジカル、 C_3HF_3 ラジカル。以下「 $C_xH_yF_z$ 系ラジカル」という。）が多く含まれる。 $C_xH_yF_z$ 系ラジカルは、マスク膜MKの表面に、当該表面を保護する保護膜を形成する。当該保護膜は、シリコン含有膜SFのエッチングにおける、マスク膜MKのエッチングを抑制し得る。したがって、 $C_xH_yF_z$ 系ラジカルは、シリコン含有膜SFのエッチングにおいて、マスク膜MKに対するシリコン含有膜SFの選択比（シリコン含有膜SFのエッチングレートをマスクMKのエッチングレートで除した値である）を向上し得る。

[0088] また、 $C_xH_yF_z$ ガスを含む処理ガスから生成するプラズマには、 $C_xH_yF_z$ ガスから解離した及び／又は $C_xH_yF_z$ 種からさらに解離したHF種が多く含まれる。HF種は、フッ化水素のガス、ラジカル及びイオンの少なくともいずれかを含む。HF種は、シリコン含有膜SFのエッチャントとして機能する。HF種をプラズマ中に多く含むことで、シリコン含有膜SFのエッチングレートが向上し得る。 $C_xH_yF_z$ ガスは、1以上の CF_3 基を有してよい。 $C_xH_yF_z$ ガスが CF_3 基を有する場合、例えば CF_3 基にCH基が単結合している場合は、その分子構造により、HFとして解離しやすく、プラズマ中にHF種を増加させ得る。

[0089] なお、処理ガスは、上述した $C_xH_yF_z$ ガスの一部又は全部に代えて、 C_xF_z （ x が2以上の整数であり、 z は1以上の整数である）ガスを含んでよい。具体的には、 C_2F_2 、 C_2F_4 、 C_3F_8 、 C_4F_6 、 C_4F_8 及び C_5F_8 からなる群から選択される少なくとも1種を使用してもよい。これにより、プラズマ中の水素の量を抑制でき、例えば、過剰の水素によるモロロジーの悪化やチャン

バ10内の水分の増加等を抑制し得る。ここで、モホロジーとは、マスク膜MKの表面状態、開口OPの真円度等のマスクの形状に関する特性を意味する。

[0090] $C_xH_yF_z$ ガスの流量は、反応ガスの総流量に対して20体積%以下でよい。 $C_xH_yF_z$ ガスの流量は、反応ガスの総流量に対して、例えば、15体積%以下、10体積%以下、5体積%以下でもよい。 $C_xH_yF_z$ ガスの流量が反応ガスの総流量に対して20体積%以下の場合、エッチング中に炭素がマスク膜MKやシリコン含有膜SFの側壁に過剰に堆積し、マスク膜MKの開口OPが閉塞することを抑制し得る。

[0091] フッ素含有ガスは、プラズマ処理中に、チャンバ10内でフッ化水素(HF)種を生成可能なガスであってよい。HF種は、フッ化水素のガス、ラジカル及びイオンの少なくともいずれかを含む。一例では、フッ素含有ガスは、HFガス又はハイドロフルオロカーボンガスであってよい。また、フッ素含有ガスは、水素源及びフッ素源を含む混合ガスであってもよい。水素源は、例えば、 H_2 、 NH_3 、 H_2O 、 H_2O_2 又はハイドロカーボン(CH_4 、 C_3H_6 等)であってよい。フッ素源は、 NF_3 、 SF_6 、 WF_6 、 XeF_2 、フルオロカーボン又はハイドロフルオロカーボンであってよい。以下、これらのフッ素含有ガスを「HF系ガス」ともいう。HF系ガスを含む処理ガスから生成されるプラズマは、HF種(エッチャント)を多く含む。HF系ガスの流量は、 $C_xH_yF_z$ ガスの流量より多くてよい。HF系ガスは、主エッチャントガスでもよい。HF系ガスは、反応ガスの総流量に占める流量割合が最も大きくてよく、例えば、反応ガスの総流量に対して70体積%以上でよい。また、HF系ガスは、反応ガスの総流量に対して96体積%以下でよい。

[0092] リン含有ガスは、シリコン含有膜SFのエッチングにおいて、シリコン含有膜SFの側壁を保護するとともに、シリコン含有膜SFの底部BTにおけるエッチャントの吸着を促進し得る。リン含有ガスは、 PF_3 ガス、 PF_5 ガス、 POF_3 ガス、 HPF_6 ガス、 PCl_3 ガス、 PCl_5 ガス、 $POCl_3$ ガス、 PBr_3 ガス、 PBr_5 ガス、 $POBr_3$ ガス、 PI_3 ガス、 P_4O_{10} ガス、 P_4O_8 ガス

、 P_4O_6 ガス、 PH_3 ガス、 Ca_3P_2 ガス、 H_3PO_4 ガス及び Na_3PO_4 ガスからなる群から選択される少なくとも1種でよい。これらガスの中で、 PF_3 ガス、 PF_5 ガス、 PCl_3 ガス等のハロゲン化リン含有ガスを使用してもよく、また、 PF_3 ガス、 PF_5 ガス等のフッ化リンガスを使用してもよい。

[0093] 処理ガスは、反応ガスとして、ハロゲン含有ガス、炭素含有ガス、窒素含有ガス及び酸素含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種をさらに含んでよい。一例では、処理ガスは、反応ガスとして、酸素含有ガスをさらに含む。他の例では、処理ガスは、反応ガスとして、酸素含有ガスと、ハロゲン含有ガス及び／又は炭素含有ガスをさらに含む。

[0094] ハロゲン含有ガスは、エッチングにおけるマスク膜MKやシリコン含有膜SFの形状を調整し得る。ハロゲン含有ガスは、フッ素以外のハロゲン元素を含むガスでもよい。ハロゲン含有ガスは、エッチングにおけるマスク膜MKやシリコン含有膜SFの形状を調整し得る。ハロゲン含有ガスは、塩素含有ガス、臭素含有ガス及び／又はヨウ素含有ガスであってよい。塩素含有ガスとしては、 Cl_2 、 $SiCl_2$ 、 $SiCl_4$ 、 CCl_4 、 SiH_2Cl_2 、 Si_2Cl_6 、 $CHCl_3$ 、 SO_2Cl_2 、 BCl_3 、 PCl_3 、 PCl_5 、 $POCl_3$ 等のガスを使用してよい。臭素含有ガスとしては、 Br_2 、 HBr 、 $CB r_2F_2$ 、 C_2F_5Br 、 PBr_3 、 PBr_5 、 $POBr_3$ 、 BBr_3 等のガスを使用してよい。ヨウ素含有ガスとしては、 HI 、 CF_3I 、 C_2F_5I 、 C_3F_7I 、 IF_5 、 IF_7 、 I_2 、 PI_3 等のガスを使用してよい。一例では、ハロゲン含有ガスとして、 Cl_2 ガス、 Br_2 ガス、 HBr ガス、 CF_3I ガス、 IF_7 ガス及び C_2F_5Br からなる群から選択される少なくとも1種が使用される。他の例では、ハロゲン含有ガスとして、 Cl_2 ガス及び HBr ガスが使用される。

[0095] 炭素含有ガスは、エッチングにおいてマスク膜MKの表面に炭素を堆積させ、当該表面を保護し得る。炭素含有ガスは、 C_aH_b （ a 及び b は1以上の整数である）ガス、 C_cF_d （ c 及び d は1以上の整数である）ガス及び CH_eF_f （ e 及び f は1以上の整数である）ガスからなる群から選択される少なくとも1種でよい。 C_aH_b ガスは、例えば、 CH_4 ガス又は C_3H_6 ガス等でよい。 C_c

F_d ガスは、例えば、 CF_4 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_4F_6 ガス又は C_4F_8 ガス等である。 CH_eF_f ガスは、例えば、 CH_2F_2 ガス、 CHF_3 ガス又は CH_3F ガス等である。

[0096] 窒素含有ガスは、エッチングにおけるマスク膜MKの開口OPの閉塞を抑制し得る。窒素含有ガスは、例えば、 NF_3 ガス、 N_2 ガス及び NH_3 ガスからなる群から選択される少なくとも1種のガスである。

[0097] 酸素含有ガスは、窒素含有ガスと同様に、エッチングにおけるマスク膜MKの開口OPの閉塞を抑制し得る。酸素含有ガスは、例えば、 O_2 、CO、 CO_2 、 H_2O 及び H_2O_2 からなる群から選択される少なくとも1種のガスである。一例では、処理ガスは、 H_2O 以外の酸素含有ガス、すなわち、 O_2 、CO、 CO_2 及び H_2O_2 からなる群から選択される少なくとも1種のガスを含む。酸素含有ガスは、マスク膜MKへのダメージが少なく、モホロジーの悪化を抑制し得る。

[0098] 図6は、エッチング後のマスク膜MKの形状の一例を示す図である。図6は、基板Wと同一の構造を有するサンプル基板を基板処理装置1においてエッチングした場合のマスク膜MKの形状（平面視）の一例である。図6において、「No.」は、エッチングしたサンプル基板の試料番号を示す。「処理ガス」は、エッチングに使用した処理ガスを示し、「A」は、HFガス、 $C_4H_2F_6$ ガス、 O_2 ガス、 NF_3 ガス、 $HB r$ ガス及び Cl_2 ガスを含む処理ガス（以下「処理ガスA」という。）を示す。処理ガスAは、HFガスを反応ガスの総流量に対して80体積%以上含み、 O_2 ガスを反応ガスの総流量に対して4～5体積%含んでいる。「処理ガス」の「B」は、 NF_3 ガス含まず、その分 O_2 ガスの流量を増加させた点を除き、処理ガスAと同一の処理ガス（以下「処理ガスB」という。）を示す。処理ガスBは、 O_2 ガスを反応ガスの総流量に対して6～7体積%含む。「上部電極印加」の「あり」は、エッチング中に基板処理装置1の上部電極30に負極性の直流電圧を供給したことを示し、「なし」は、上部電極30に負極性の直流電圧を供給しなかったことを示す。図6の「マスク形状」からは、「上部電極印加」の「あり」の場合

でも「なし」の場合でも、 NF_3 を含む処理ガスAを用いた場合（試料1及び試料3）は、開口OPの真円度が悪化し、マスク膜MKの表面の一部に段差が生じたことが分かる。一方、 NF_3 ガスを含まず、 O_2 ガスの流量を増加させた処理ガスBを用いた場合（試料2及び試料4）は、開口OPの真円度が高く、またマスク膜MKの表面に段差が生じておらず、処理ガスAを用いた場合（試料1及び試料3）に比べて、マスク膜MKのモロロジーが改善したことが分かる。

- [0099] また、リン含有ガスに加えて酸素含有ガスが存在する状態では、シリコン含有膜SFの底部BTにおけるエッチャントの吸着が一層促進されるため、シリコン含有膜SFのエッチングレートをさらに向上させることができる。
- [0100] このほか、処理ガスは、 BF_3 、 BCl_3 、 BBr_3 、 B_2H_6 等のホウ素含有ガスを含んでもよい。また、処理ガスは、 SF_6 及びCOS等の硫黄含有ガスを含んでもよい。
- [0101] 処理ガスは、上述した反応ガスに加えて不活性ガス（Ar等の貴ガス）を含んでもよい。
- [0102] 内部空間10s内に供給された処理ガスの圧力は、チャンバ本体12に接続された排気装置50の圧力調整弁を制御することで調整される。処理ガスの圧力は、例えば、5mTorr（0.7Pa）以上100mTorr（13.3Pa）以下、10mTorr（1.3Pa）以上60mTorr（8.0Pa）以下、又は20mTorr（2.7Pa）以上40mTorr（5.3Pa）以下でよい。
- [0103] 次に、ステップST22において、プラズマ生成部（高周波電源62及び／又はバイアス電源64）から高周波電力及び／又は電気バイアスを供給する。これにより、上部電極30と基板支持器14との間で高周波電界が生成され、内部空間10s内の処理ガスからプラズマが生成される。生成されたプラズマ中のイオン、ラジカルといった活性種が基板Wに引き寄せられて、基板Wがエッチングされる。
- [0104] 図7は、ステップST22における基板Wの断面構造の一例を示す図であ

る。ステップST22の実行中、マスク膜MKがマスクとして機能し、シリコン含有膜SFのうちマスク膜MKの開口OPに対応する部分が深さ方向（図7中上から下に向かう方向）にエッチングされ、凹部RCが形成される。凹部RCは、シリコン含有膜SFの側壁S2により囲まれた空間である。ステップST22において形成される凹部RCのアスペクト比は、20以上であってよく、30以上、40以上、50以上、又は100以上であってもよい。

[0105] 本処理方法においては、処理ガスは $C_xH_yF_z$ ガス及びHF系ガスを含み、プラズマ中に多くのHF種が生成される。そのため、ステップST22の実行中、シリコン含有膜SFに形成される凹部RCの底部BTにまでHF種（エッチャント）が十分に供給され得る。また、本処理方法においては、処理ガスはリン含有ガスを含む。プラズマ中のリン活性種（イオン、ラジカル）は、凹部RCの底部BTにおけるHF種（エッチャント）の吸着を促進し得る。これにより、シリコン含有膜SFのエッチングレートが向上し得る。

[0106] なお、ステップST22において、基板支持器14の温度を低温に制御してよい。基板支持器14の温度は、例えば、20℃以下でよく、0℃以下、-10℃以下、-20℃以下、-30℃以下又は-40℃以下、-70℃以下でもよい。基板支持器14の温度は、チラーユニットから供給する熱交換媒体により調整され得る。HF種の吸着係数は、低温においてより増加する。そのため、基板支持器14の温度を低温に制御して基板Wの温度の上昇を抑制することにより、HF種（エッチャント）の凹部RCの底部BTでの吸着が促進される。これにより、シリコン含有膜SFのエッチングレートが向上し得る。

[0107] 本処理方法においては、処理ガスは $C_xH_yF_z$ ガスを含む。 $C_xH_yF_z$ ガスは、プラズマ中に、 $C_xH_yF_z$ 系ラジカルが高密度で生成される。図7に示すように、 $C_xH_yF_z$ ラジカルは、マスク膜MKの表面（上面T1及び側壁S1）に吸着し、保護膜PFを形成する。保護膜PFは、ステップST22の実行中にマスク膜MKの表面がエッチングにより除去されること（マスク膜MKのエッ

チングレートが増加すること）を抑制する。これにより、マスク膜MKに対するシリコン含有膜SFの選択比が向上する。

[0108] 本処理方法においては、処理ガスはリン含有ガスを含む。リン含有ガスは、プラズマ中にリン活性種が生成される。リン活性種は、マスク膜MKに含まれる元素と結合して保護膜PFの一部を構成し得る。例えば、マスク膜MKが炭素を含有する場合、リン活性種は、マスクMK表面の炭素と結合し、保護膜PFの一部を構成し得る。リンと炭素との結合エネルギーは、炭素間の結合エネルギーよりも大きく、この保護膜PFは、ステップST22の実行中にマスク膜MKの表面がエッチングにより除去されること（マスク膜MKのエッチングレートが増加すること）を抑制する。すなわち、処理ガスに含まれるリン含有ガスは、シリコン含有膜SFの選択比の向上に寄与し得る。

[0109] 図7に示すように、 $C_xH_yF_z$ ラジカルによる保護膜PFは、シリコン含有膜SFの側壁S2にも形成され得る。この保護膜PFは、ステップST22の実行中に、シリコン含有膜SFの側壁S2が横方向（図7の左右方向）にエッチングされることを抑制し得る。これにより、シリコン含有膜SFに形成される凹部RCの形状及び／又は寸法が適切に保たれ得る。例えば、シリコン含有膜SFに形成される凹部RCの幅が一部で広くなること（ボーイング）や、凹部RCが横方向にエッチングされて深さ方向（図7の上から下に向かう方向）に直線的に進まなくなること（曲がりやねじれ等）が抑制され得る。なお、保護膜PFは、シリコン含有膜SFの深さ方向に向かって薄くなり得る。

[0110] 上述したプラズマ中のリン活性種は、シリコン含有膜SFに含まれる元素と結合して保護膜PFの一部を構成し得る。例えば、シリコン含有膜SFが酸化シリコン膜や窒酸化シリコン膜等の酸素を含有する膜である場合、プラズマ中のリン活性種は、シリコン含有膜SFの酸素と結合し、保護膜PFの一部を構成し得る。リンと酸素との結合は化学的に強固であり、リンと酸素との結合を含む保護膜PFは、シリコン含有膜SFの側壁S2に対して浅い

角度で衝突する低いエネルギーのイオンによっては除去されにくい。そのため、保護膜PFは、ステップST22の実行中に、シリコン含有膜SFの側壁S2が横方向にエッチングされることを抑制し得る。すなわち、処理ガスに含まれるリン含有ガスは、シリコン含有膜SFに形成される凹部RCの形状及び／又は寸法を適切に保つこと（例えば、ボーイング等の抑制）に寄与し得る。

[0111] なお、ステップST22において、内部空間10s内にプラズマが生成されているときに、バイアス電源64から基板支持器14に電気バイアスのパルス波を周期的に与えてよい。電気バイアスのパルス波を周期的に与えることで、エッチングと保護膜PFの形成とを交互に進行させ得る。

[0112] また、ステップST2の実行中、内部空間10sに供給する $C_xH_yF_z$ ガスの流量を変化させてよい。例えば、第1の分圧の $C_xH_yF_z$ ガスを含む反応ガスで第1のエッチングを行った後、第2の分圧の $C_xH_yF_z$ ガスを含む反応ガスで第2のエッチングを行ってよい。これにより、例えば、シリコン含有膜SFが異なる材料の積層膜である場合に、エッチングする膜の材料に合わせて $C_xH_yF_z$ ガスの流量を制御することで、当該積層膜を適切にエッチングし得る。

[0113] また、ステップST2の実行中、内部空間10sに供給する $C_xH_yF_z$ ガスの流量は、基板Wの平面視において、基板Wの中心部と周辺部で異なってよい。これにより、マスク膜MKの側壁S1に囲まれた開口OPの寸法が、基板Wの中心部と周辺部で異なる場合であっても、 $C_xH_yF_z$ ガスの流量の分布を制御することで、当該寸法のばらつきを補正し得る。

[0114] また、ステップST2の実行中、チャンバ10（内部空間10s）内の圧力やバイアス電源64から基板支持器14に供給する電気バイアスを変更してよい。例えば、ステップST2は、チャンバ10内を第1の圧力とし、基板支持器14に第1の電気バイアスを供給し、シリコン含有膜SFをエッチングする第1工程と、チャンバ10内を第2の圧力とし、基板支持器14に第2の電気バイアスを供給し、シリコン含有膜SFをエッチングする第2工程とを含んでよい。ステップST2は、第1工程と第2工程とを交互に繰り返す。

返してもよい。第1の圧力は、第2の圧力と異なってよく、例えば、第2の圧力より大きくてよい。第1の電気バイアスは、第2の電気バイアスと異なってよく、例えば、第1の電気バイアスの絶対値は、第2の電気バイアスの絶対値より大きくてよい。第1の圧力、第2の圧力、第1の電気バイアス及び第2の電気バイアスを適宜調整することで、例えば、第1工程で凹部RCが下地膜UFに到達するまで又は到達する直前までシリコン含有膜SFを異方性エッチングし、第2工程で凹部RCの底部を横方向に拡大するように等方性エッチングしてよい。

[0115] 以下、本処理方法を評価するために行った各種実験について説明する。本開示は、以下の実験によって何ら限定されるものではない。

[0116] (実験1)

図8は、実験1の測定結果を示す図である。実験1では、各種反応ガスにおけるHF種の生成量を測定した。実験1では、基板処理装置1の内部空間10sに、反応ガスとして $C_4H_2F_6$ ガス、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス及び CH_2F_2 ガスのいずれか一つとArガスとを供給して10分間プラズマを生成し、プラズマ生成前とプラズマ生成後のHF強度を四重極型質量分析計 (quadrupole mass analyzer) で測定した。基板支持器14の温度は $-40^{\circ}C$ に設定した。図8の縦軸は、プラズマ生成前のHF強度とプラズマ生成後のHF強度との差を示す。縦軸の値が大きいほどプラズマ中のHF種の生成量が多いことを意味する。

[0117] 図8に示すように、本処理方法の反応ガスの一実施例にかかる $C_4H_2F_6$ ガスは、水素元素を含まない C_4F_8 ガス及び C_4F_6 ガスはもとより、水素元素を含む CH_2F_2 ガスに比べても、プラズマ中のHF種の生成量が多かった。

[0118] (実験2)

図9及び図10は、実験2の測定結果を示す図である。図9は、プラズマ処理装置1を用い、フッ化水素ガス及びアルゴンガスの混合ガスである処理ガスからプラズマを生成して、シリコン酸化膜をエッチングした実験結果を示す。図10は、プラズマ処理装置1を用い、フッ化水素ガス、アルゴンガ

ス及び PF_3 ガスの混合ガスである処理ガスからプラズマを生成して、シリコン酸化膜をエッチングした実験結果を示す。実験2では、基板支持器14の温度を変更しながら、シリコン酸化膜をエッチングし、四重極型質量分析計 (quadrupole mass analyzer) を用いて、シリコン酸化膜のエッチング時の気相中のフッ化水素 (HF) の量と SiF_3 の量を測定した。図9及び図10の横軸は基板支持器14の温度 T ($^{\circ}\text{C}$)、縦軸はフッ化水素 (HF) 及び SiF_3 の量 (ヘリウムを基準に標準化した強度) を示す。

[0119] 図9に示すように、処理ガスが、フッ化水素ガス及びアルゴンガスの混合ガスである場合、基板支持器14の温度が約 -60°C 以下の温度である場合に、エッチャントであるフッ化水素 (HF) の量が減少し、シリコン酸化膜のエッチングにより生成される反応生成物である SiF_3 の量が増加していた。すなわち、処理ガスが、フッ化水素ガス及びアルゴンガスの混合ガスである場合、基板支持器14の温度が約 -60°C 以下の温度でシリコン酸化膜のエッチングにおいて利用されるエッチャントの量が増加していた。

[0120] 図10に示すように、処理ガスが、フッ化水素ガス、アルゴンガス及び PF_3 ガスの混合ガスである場合、基板支持器14の温度が約 20°C 以下の温度である場合に、エッチャントであるフッ化水素 (HF) の量が減少し、シリコン酸化膜のエッチングにより生成される反応生成物である SiF_3 の量が増加していた。すなわち、処理ガスが、フッ化水素ガス、アルゴンガスに加えて PF_3 ガスをさらに含んでいる場合、基板支持器14の温度が約 20°C 以下の温度で、シリコン酸化膜のエッチングにおいて利用されるエッチャントの量が増加していた。

[0121] 実験2から、基板支持器14の温度が低温であるほど、シリコン酸化膜のエッチングが促進され、マスク膜MKに対するシリコン酸化膜の選択比が改善できることが分かった。また処理ガスが PF_3 ガスを含んでいる場合、すなわち、エッチング時にリン活性種がシリコン酸化膜の表面に存在する状態では、基板支持器14の温度が約 20°C 以下の温度であっても、エッチャントのシリコン酸化膜への吸着が促進され、エッチングレートを向上させること

ができることが分かった。

[0122] (実験3)

図11及び図12は、実験3の測定結果を示す図である。実験3では、基板Wと同一の構造を有するサンプル基板を基板支持器14上に準備した。基板処理装置1の内部空間10sに処理ガスを供給してプラズマを生成し、当該サンプル基板のシリコン含有膜SFをエッチングした。基板支持器14の温度は -40°C に設定した。処理ガスとしては、 $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_6$ ガス、HFガス及び PF_3 ガスを含む処理ガス1と、 C_4F_8 ガス、HFガスを含む処理ガス2とをそれぞれ用いた。処理ガス1及び処理ガス2は、 C_4F_8 ガス及び $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_6$ ガスを、反応ガスの総流量に対して5体積%以下含んでいた。処理ガス1及び処理ガス2は、HFガスを反応ガスの総流量に対して90体積%以上含んでいた。図11は、凹部RCのアスペクト比(AR)とマスク膜MKに対するシリコン含有膜SFの選択比(SeI.)との関係を示す。なお、選択比は、シリコン含有膜SFのエッチングレートをマスク膜MKのエッチングレートで除することで求めることができる。図12は、凹部RCのアスペクト比(AR)とシリコン含有膜SFの凹部RCの最大幅(ボーイングCD: CD_m [nm])との関係を示す。

[0123] 図11及び図12に示すように、本処理方法の処理ガスの一実施例にかかる処理ガス1を用いた場合は、シリコン含有膜SFに形成される凹部RCのアスペクト比が高くなっても、処理ガス2を用いた場合に比べて、高い選択比を維持するとともに、ボーイングCDの増加が抑制されていた。

[0124] (実験4)

図13は、凹部RCの断面形状の評価方法の一例を説明するための図である。図13において、中心基準線CLは、マスク膜MKの下面又はシリコン含有膜SFの上面における凹部RCの幅の midpoint MP を通る線である。中心基準線CLからの midpoint MP のずれ量を凹部RCの深さ方向に沿って測定することによって、凹部RCの形状を評価することができる。例えば、当該ずれ量によって、シリコン含有膜SFに形成された凹部RCの曲がりやねじれを評

価することができる。

- [0125] 図14及び図15は、実験4の測定結果を示す図である。実験4では、基板Wと同一の構造を有するサンプル基板を基板支持器14上に準備した。基板処理装置1の内部空間10sに処理ガスを供給してプラズマを生成し、当該サンプル基板のシリコン含有膜SFをエッチングした。基板支持器14の温度は -40°C に設定した。処理ガスとしては、実験3と同一の処理ガス1及び処理ガス2をそれぞれ用いた。エッチング後に、処理ガス1及び処理ガス2それぞれの場合について、シリコン含有膜SFに形成された5つの凹部RCの形状を比較した。
- [0126] 図14において、縦軸は、シリコン含有膜SFに形成された凹部RCの深さD (μm)を示す。深さ0はマスク膜MKとの境界である。横軸は、平均ずれ量S (nm)を示す。平均ずれ量Sは、5つの凹部RCそれぞれについて深さ方向に沿って図13で説明した中心基準線CLからの中点MPのずれ量を測定し、これらのずれ量を平均したものである。図14に示すように、本処理方法の一実施例にかかる処理ガス1を用いた場合は、平均ずれ量Sは深さ方向全般にわたって小さかった。処理ガス2を用いた場合は、凹部RCの深さが大きくなるに従って、平均ずれ量Sが大きくなっていた。
- [0127] 上述した各凹部RCのずれ量は、当該凹部RCの曲がる方向によって正及び負のいずれの値も取りうる。そのため、各凹部RCのずれ量の絶対値が大きくても、各凹部RCの曲がる方向にばらつきがある場合は、平均ずれ量Sが小さくなり得る。そこで、図15に示すように、各凹部RCのずれ量の絶対値の平均（分散）についても評価した。図15において、縦軸は、上記5つの凹部RCの分散Sabs (nm)を示す。分散Sabsは、各凹部RCの各ずれ量の絶対値を平均したものである。横軸は、シリコン含有膜SFに形成された凹部RCの深さD (μm)を示す。深さ0はマスク膜MKとの境界である。図15に示すように、処理ガス1を用いた場合は、処理ガス2に比べて、深さが大きくなっても、分散Sabs (nm)の増加が抑制されていた。図15によれば、図14において、処理ガス1を用いた場合に平均ず

れ量Sが深さ方向全般にわたって小さかったのは、各凹部RCの曲がる方向に正負のばらつきがあったためではなく、各凹部RCのずれ量自体が小さかったためであると考えられる。

[0128] 実験4から、本処理方法の一実施例にかかる処理ガス1を用いた場合は、処理ガス2を用いた場合に比べて、凹部RCの曲がりやねじれが抑制され、エッチングがより垂直方向に進むことが分かった。

[0129] また、開示する実施形態は、以下の態様をさらに含む。

[0130] (付記1)

C₄H₂F₆ガス、C₄H₂F₈ガス、C₃H₂F₄ガス及びC₃H₂F₆ガスからなる群から選択される少なくとも1種のガス、HFガス、及び、ハロゲン化リンガスを含む、エッチングガス組成物。

[0131] (付記2)

前記ハロゲン化リンガスは、PF₃ガス、PF₅ガス、POF₃ガス、HPF₆ガス、PCl₃ガス、PCl₅ガス、POCl₃ガス、PBr₃ガス、PBr₅ガス、POBr₃ガス又はPI₃ガスからなる群から選択される少なくとも1種を含む、付記1に記載のエッチングガス組成物。

[0132] (付記3)

ハロゲン含有ガス、炭素含有ガス、酸素含有ガス及び窒素含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種をさらに含む、付記1又は付記2に記載のエッチングガス組成物。

[0133] (付記4)

前記ハロゲン含有ガスは、塩素含有ガス、臭素含有ガス及びヨウ素含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種である、付記3に記載のエッチングガス組成物。

[0134] (付記5)

前記ハロゲン含有ガスは、Cl₂、SiCl₂、SiCl₄、CCl₄、SiH₂Cl₂、Si₂Cl₆、CHCl₃、SO₂Cl₂、BCl₃、PCl₃、PCl₅、POCl₃、Br₂、HBr、CBr₂F₂、C₂F₅Br、PBr₃、PBr₅、POBr₃

、 BBr_3 、 HI 、 CF_3I 、 $\text{C}_2\text{F}_5\text{I}$ 、 $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$ 、 IF_5 、 IF_7 、 I_2 及び PI_3 からなる群から選択される少なくとも1種のガスである、付記3に記載のエッチングガス組成物。

[0135] (付記6)

前記炭素含有ガスは、 C_aH_b (a 及び b は1以上の整数である) ガス、 C_cF_d (c 及び d は1以上の整数である) ガス及び CH_eF_f (e 及び f は1以上の整数である) ガスからなる群から選択される少なくとも1種である、付記3乃至付記5のいずれか1項に記載のエッチングガス組成物。

[0136] (付記7)

前記窒素含有ガスは、 NF_3 ガス、 N_2 ガス及び NH_3 ガスからなる群から選択される少なくとも1種である、付記3乃至付記6のいずれか1項に記載のエッチングガス組成物。

[0137] (付記8)

酸素含有ガスを更に含み、前記酸素含有ガスは、 O_2 ガス、 CO ガス、 CO_2 ガス、 H_2O ガス及び H_2O_2 ガスからなる群から選択される少なくとも1種である、付記1乃至付記6のいずれか1項に記載のエッチングガス組成物。

[0138] (付記9)

ホウ素含有ガス及び硫黄含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種をさらに含む、付記1乃至付記8のいずれか1項に記載のエッチングガス組成物。

[0139] (付記10)

不活性ガスをさらに含む、付記1乃至付記9のいずれか1項に記載のエッチングガス組成物。

[0140] 本処理方法は、本開示の範囲及び趣旨から逸脱することなく種々の変形をなし得る。例えば、本処理方法は、容量結合型の基板処理装置1以外にも、誘導結合型プラズマやマイクロ波プラズマ等、任意のプラズマ源を用いた基板処理装置を用いて実行してよい。

符号の説明

[0141] 1 ……基板処理装置、10 ……チャンバ、10s ……内部空間、12 ……チャンバ本体、14 ……基板支持器、16 ……電極プレート、18 ……下部電極、20 ……静電チャック、30 ……上部電極、50 ……排気装置、62 ……高周波電源、64 ……バイアス電源、80 ……制御部、CT ……制御部、SF ……シリコン含有膜、MK ……マスク膜、OP ……開口、PF ……保護膜、RC ……凹部、UF ……下地膜、W ……基板

請求の範囲

- [請求項1] チャンバ内にシリコン含有膜を有する基板を準備する工程と、
 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス、 $C_3H_2F_4$ ガス及び $C_3H_2F_6$ ガスからなる群から選択される少なくとも1種のガス、HFガス、及び、ハロゲン化リンガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に導入してプラズマを生成し、前記基板のシリコン含有膜をエッチングする工程と、
を含む基板処理方法。
- [請求項2] 前記ハロゲン化リンガスは、 PF_3 ガス、 PF_5 ガス、 POF_3 ガス、 HPF_6 ガス、 PCl_3 ガス、 PCl_5 ガス、 $POCl_3$ ガス、 PBr_3 ガス、 PBr_5 ガス、 $POBr_3$ ガス又は PI_3 ガスからなる群から選択される少なくとも1種を含む、請求項1に記載の基板処理方法。
- [請求項3] 前記処理ガスは、ハロゲン含有ガス、炭素含有ガス、酸素含有ガス及び窒素含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種をさらに含む、請求項1又は請求項2のいずれかに記載の基板処理方法。
- [請求項4] 前記ハロゲン含有ガスは、塩素含有ガス、臭素含有ガス及びヨウ素含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種である、請求項3に記載の基板処理方法。
- [請求項5] 前記ハロゲン含有ガスは、 Cl_2 、 $SiCl_2$ 、 $SiCl_4$ 、 CCl_4 、 SiH_2Cl_2 、 Si_2Cl_6 、 $CHCl_3$ 、 SO_2Cl_2 、 BCl_3 、 PCl_3 、 PCl_5 、 $POCl_3$ 、 Br_2 、 HBr 、 CBr_2F_2 、 C_2F_5Br 、 PBr_3 、 PBr_5 、 $POBr_3$ 、 BBr_3 、 HI 、 CF_3I 、 C_2F_5I 、 C_3F_7I 、 IF_5 、 IF_7 、 I_2 及び PI_3 からなる群から選択される少なくとも1種のガスである、請求項3に記載の基板処理方法。
- [請求項6] 前記炭素含有ガスは、 C_aH_b （ a 及び b は1以上の整数である）ガス、 C_cF_d （ c 及び d は1以上の整数である）ガス及び CH_eF_f （ e 及び f は1以上の整数である）ガスからなる群から選択される少なくとも1種である、請求項3乃至請求項5のいずれか1項に記載の基板処理方法。

- [請求項7] 前記窒素含有ガスは、 NF_3 ガス、 N_2 ガス及び NH_3 ガスからなる群から選択される少なくとも1種である、請求項3乃至請求項6のいずれか1項に記載の基板処理方法。
- [請求項8] 前記処理ガスは、酸素含有ガスを更に含み、前記酸素含有ガスは、 O_2 ガス、 CO ガス、 CO_2 ガス、 H_2O ガス及び H_2O_2 ガスからなる群から選択される少なくとも1種である、請求項1乃至請求項6のいずれか1項に記載の基板処理方法。
- [請求項9] 前記処理ガスは、ホウ素含有ガス及び硫黄含有ガスからなる群から選択される少なくとも1種をさらに含む、請求項1乃至請求項8のいずれか1項に記載の基板処理方法。
- [請求項10] 前記処理ガスは、不活性ガスをさらに含む、請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載の基板処理方法。
- [請求項11] 前記シリコン含有膜は、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜及びポリシリコン膜からなる群から選択される少なくとも1種を含む、請求項1乃至請求項10のいずれか1項に記載の基板処理方法。
- [請求項12] 前記基板は、前記シリコン含有膜上に少なくとも一つの開口を規定する有機膜又は金属含有膜からなるマスクを有する、請求項1乃至請求項11のいずれか1項に記載の基板処理方法。
- [請求項13] 前記エッチングする工程は、第1の期間と、前記第1の期間と交互の第2の期間に前記基板支持器に電気バイアスを与えることを含み、
前記第1の期間における電気バイアスは0又は第1のレベルであり、
前記第2の期間における電気バイアスは前記第1のレベルよりも大きい第2のレベルである、
請求項1乃至請求項12のいずれか1項に記載の基板処理方法。
- [請求項14] 前記エッチングする工程は、第3の期間と、前記第3の期間と交互の第4の期間に前記基板支持器又は前記基板支持器に対向する上部電極に、プラズマを生成するための高周波電力を供給することを含み、
前記第3の期間における前記高周波電力のレベルは0又は第3のレ

ベルであり、前記第４の期間における前記高周波電力のレベルは前記第３のレベルよりも大きい第４のレベルであり、

前記第２の期間と、前記第４の期間とは少なくとも一部が重複している、請求項１３に記載の基板処理方法。

[請求項15] 前記電気バイアスは、パルス電圧である、請求項１３又は請求項１４のいずれかに記載の基板処理方法。

[請求項16] 前記エッチングする工程は、前記基板支持器に対向する上部電極に、直流電圧又は低周波電力を供給することを含む、請求項１乃至請求項１５のいずれか１項に記載の基板処理方法。

[請求項17] 前記エッチングする工程は、
前記チャンバ内を第１の圧力とし、前記基板支持器に第１の電気バイアスを供給して、前記シリコン含有膜をエッチングする第１工程と、
前記チャンバ内を第２の圧力とし、前記基板支持器に第２の電気バイアスを供給して、前記シリコン含有膜をエッチングする第２工程と、
を含み、
前記第１の圧力は前記第２の圧力と異なる、及び／又は前記第１の電気バイアスは前記第２の電気バイアスと異なる、請求項１乃至請求項１６のいずれか１項に記載の基板処理方法。

[請求項18] 前記第１の圧力は、前記第２の圧力よりも大きい、請求項１７に記載の基板処理方法。

[請求項19] 前記第１の電気バイアスの大きさの絶対値は、前記第２の電気バイアスの大きさの絶対値よりも大きい、請求項１７又は請求項１８のいずれかに記載の基板処理方法。

[請求項20] 前記第１工程と前記第２工程とを交互に繰り返す、請求項１７乃至請求項１９のいずれか１項に記載の基板処理方法。

[請求項21] チャンバ内にシリコン含有膜を有する基板を準備する工程と、

$C_xH_yF_z$ (x は 2 以上の整数であり、 y 及び z は 1 以上の整数である。) ガス、フッ素含有ガス、及び、リン含有ガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に導入してプラズマを生成し、前記基板のシリコン含有膜をエッチングする工程と、
を含む基板処理方法。

[請求項22] 前記フッ素含有ガスは、前記チャンバ内で HF 種を生成可能なガスである、請求項 21 に記載の基板処理方法。

[請求項23] 前記 $C_xH_yF_z$ ガスは、1 以上の CF_3 基を有する、請求項 21 又は請求項 22 のいずれかに記載の基板処理方法。

[請求項24] 前記 $C_xH_yF_z$ ガスは、 $C_3H_2F_4$ ガス、 $C_3H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス及び $C_5H_2F_6$ ガスからなる群から選択される少なくとも 1 種を含む、請求項 21 乃至請求項 23 のいずれか 1 項に記載の基板処理方法。

[請求項25] 前記リン含有ガスは、 PF_3 ガス、 PF_5 ガス、 POF_3 ガス、 HPF_6 ガス、 PCl_3 ガス、 PCl_5 ガス、 $POCl_3$ ガス、 PBr_3 ガス、 PBr_5 ガス、 $POBr_3$ ガス、 PI_3 ガス、 P_4O_{10} ガス、 P_4O_8 ガス、 P_4O_6 ガス、 PH_3 ガス、 Ca_3P_2 ガス、 H_3PO_4 ガス及び Na_3PO_4 ガスからなる群から選択される少なくとも 1 種を含む、請求項 21 乃至請求項 24 のいずれか 1 項に記載の基板処理方法。

[請求項26] チャンバ内の基板支持器上に、シリコン含有膜を有する基板を準備する工程と、

前記チャンバ内でプラズマを生成する工程と、

前記プラズマに含まれる HF 種及び $C_xH_yF_z$ (x は 2 以上の整数であり、 y 及び z は 1 以上の整数である。) 種を用いて前記シリコン含有膜をエッチングする工程と、を含み、

前記プラズマは、リンの活性種を含み、かつ、前記 HF 種の量が最も多い、基板処理方法。

[請求項27] チャンバ、前記チャンバ内に設けられた基板支持器、前記チャンバ

内でプラズマを生成させるための電力を供給するプラズマ生成部、及び、制御部を備え、

前記制御部は、前記基板支持器上に支持された基板のシリコン含有膜をエッチングするために、 $C_4H_2F_6$ ガス、 $C_4H_2F_8$ ガス、 $C_3H_2F_4$ ガス及び $C_3H_2F_6$ ガスからなる群から選択される少なくとも1種のガス、HFガス、及び、ハロゲン化リンガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に導入し、前記プラズマ生成部から供給する電力によりプラズマを生成する制御を実行する、基板処理装置。